Особенности эксплуатации канализационно-насосных станций теплоэлектростанций в условиях Крайнего Севера

М.Е. Дементьева, А.А. Курохтин

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены технологии по обеспечению безотказности канализационно-насосных станций (КНС), эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера. Одной из важнейших проблем является замерзание воды в резервуарах КНС. Это связано с неверным подбором теплоизоляции КНС на новых теплоэлектростанциях (ТЭС), а также с износом теплоизоляции КНС под воздействием агрессивных сред на старых ТЭС. В качестве решения этой задачи предложены два основных метода внутреннего обогрева: жидкостной и электрический. Оба метода были изучены на примере Якутской ГРЭС-2, где нарушение работы системы водоотведения может привести к остановке станции. Цель исследования — сравнительный анализ и выбор на основе технико-экономического обоснования наиболее надежного способа обогрева блоков КНС на примере Якутской ГРЭС-2, подверженных воздействию низких температур и, как следствие, замерзанию стоков в резервуарах.

Материалы и методы. На основании натурных обследований и обработки их результатов методами математической статистики определены причины возникновения проблемы замерзания воды в блоках КНС на Якутской ГРЭС-2.

Результаты. Проанализированы технологические характеристики установленных КНС, выполнены теплотехнические расчеты, рассчитаны экономические показатели и определены дальнейшие пути решения рассматриваемой проблемы. Установлено, что проектная теплоизоляция и система обогрева не соответствуют территориальным условиям, в которых установлено оборудование. Для приведения КНС в работоспособное состояние разработаны два решения внутреннего обогрева резервуаров и выполнен их сравнительный анализ. Выбран вариант обогрева с помощью греющего кабеля. Данная система успешно реализована и действует в штатном режиме.

Выводы. Результаты работы могут быть использованы для ремонта теплоизоляции и установки системы обогрева промышленных КНС без использования земляных работ в условиях Крайнего Севера и на территории вечномёрзлых грунтов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплоснабжение, канализация, теплоизоляция, надежность, ремонт системы водоотведения, замерзание воды, резервуар, техническое состояние

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Дементьева М.Е., Курохтин А.А. Особенности эксплуатации канализационно-насосных станций теплоэлектростанций в условиях Крайнего Севера // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 3. С. 356–366. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.356-366

Features of operation of sewage pumping stations of heat and power stations in in conditions the Far North

Marina E. Dement'eva, Artem A. Kurokhtin

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavl'skoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. The subject of the study is the study of technologies to ensure the reliability of sewage pumping stations (SPS), exploited in the Far North. One of the most important problems is the freezing of water in the SPS tanks, associated with the incorrect selection of the insulation of the SPS of new TPPs, as well as the deterioration of the insulation of the SPS under the influence of aggressive media on the old TPPs. As a solution, the article considers two main methods of internal heating: liquid and electric. Both methods were analyzed using the example of the Yakutsk State District Power Plant-2, where the disruption of the drainage system may lead to a station shutdown.

Materials and methods. The purpose of the study was a comparative analysis and selection on the basis of a feasibility study of the most reliable method of heating the pumping unit of the Yakutsk State District Power Plant-2, exposed to low temperatures and, as a consequence, the freezing of wastewater in tanks. On the basis of field surveys and the processing of their results using mathematical statistics, the causes of the problem of water freezing in the SPS units at Yakutsk State District Power Plant-2 were studied and analyzed. Technological characteristics of the installed SPS were also analyzed, heat engineering calculations were performed, economic indicators were calculated, and further solutions to the problem under consideration were determined.

Results. Analysis of the technical parameters and configuration of the SPS showed that the installed insulation and the heating system do not correspond to the territorial conditions in which this equipment is installed. To bring the SPS into working condition, two solutions for internal heating of tanks were developed and their comparative analysis was performed. Selected heating option with heating cable. This system has been successfully implemented and is operating normally.

Conclusions. The results of the work can be used to repair thermal insulation and install a heating system for industrial pumping stations without using earthworks in the conditions of the Far North and on the territory of permafrost soils.

KEYWORDS: heat supply, sewage, heat insulation, reliability, repair of the drainage system, water freezing, reservoir, technical condition

FOR CITATION: Dement'eva M.E., Kurokhtin A.A. Features of operation of sewage pumping stations of heat and power stations in in conditions the Far North. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14:3:356-366. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.3.356-366 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Каждая тепловая электростанция (ТЭС) представляет собой уникальное сооружение, насыщенное технически сложным оборудованием, от работоспособности которого зависит не только безопасность функционирования ТЭС в целом, но и качество электроснабжения и теплоснабжения конечных потребителей. Следовательно, к качеству технической эксплуатации таких сооружений должны предъявляться повышенные требования. Особо остро проблемы при эксплуатации ТЭС проявляются в условиях Крайнего Севера, где зимой температура местами достигает отметки -50°C и ниже и длительно воздействует на здания и сооружения. В таких условиях существует большая вероятность выведения из строя систем водоснабжения и водоотведения ТЭС ввиду замерзания жидкости в трубопроводах и канализационных насосных станциях (КНС).

Для Крайнего Севера, где были построены поселки нефтяников и газовиков с протяженными системами водоотводящих сетей, имеющих в своем составе КНС, проблема замерзания воды не нова. Ввиду того, что данные инженерные системы на момент 2018 г. устарели, многие уже заменены новыми комплектующими [1, 2]. Казалось бы, износившаяся теплоизоляция старых блоков КНС и заледеневшие стоки должны были остаться в прошлом. Но, как показала практика, далеко не все современные КНС, разработанные с применением новейших конструктивных и технологических решений и материалов, способны правильно функционировать в условиях низких температур [3]. Поэтому целью данной статьи было выполнение технико-экономического обоснования способов решения задачи по предотвращению замерзания воды в системе водоотведения и разработка на его основе рекомендаций по выбору технологий обогрева КНС ТЭС для обеспечения их пригодности к эксплуатации в условиях Крайнего Севера.

Комплексные современные исследования на рассматриваемую тему практически не проводились. Большая часть работ в области эксплуатации

и реконструкции КНС на Крайнем Севере посвящена вопросам замены устаревшего и изношенного оборудования [4–7]. Некоторые статьи посвящены оценке технического состояния сооружений, изучению их ремонтпригодности, технико-экономическому обоснованию оптимального решения по возвращению их эксплуатационной пригодности, разработке и согласованию проектных решений с учетом действующих технических регламентов [8–15]. Весомый вклад составляют труды по оптимизации теплового, гидравлического режимов работы оборудования ТЭС [16–19].

Результатами таких исследований стала замена многих устаревших советских КНС на современные финские аналоги, которые неплохо себя показали при низких отрицательных температурах и на заболоченных территориях [20]. Также рассматривались вопросы повышения эффективности и оптимизации работы насосов КНС [5, 21]. Так, благодаря разработкам, представленным в трудах [6, 7, 22, 23], удалось повысить КПД работы насосов, снизить электропотребление, а также применить новые автоматизированные способы управления блоками КНС. Но при этом проблема замерзания стоковых вод практически не затрагивалась. Предполагается, что утепления в базовой комплектации КНС должно хватить для работы при температурах до -40°C . Но для регионов, находящихся за пределами Полярного круга (например, в Норильске) или в зоне вечной мерзлоты (например, в Якутске), где температуры в самые холодные месяцы достигают -60°C , базового запаса не хватает. Поскольку в данном исследовании рассматривается КНС на ТЭС, иными словами, на уникальном объекте повышенной ответственности, которое должно работать при любой температуре и при любых погодных условиях, то следует разрабатывать индивидуальные решения, имеющие достаточный резерв надежности. Чтобы стоки не замерзали в КНС при низких температурах, в работе предлагается рассмотреть возможность использования дополнительного активного обогрева резервуаров, что обосновывает новизну исследования и определяет необходимость решения следующих задач:

1. Найти технологические решения проблемы замерзания сточных вод в блоках КНС ТЭС.

2. Проанализировать их преимущества и недостатки с точки зрения показателей надежности, параметров эксплуатационных качеств и экономических характеристик и выбрать оптимальный вариант.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись технологические решения по обогреву внутреннего пространства блока КНС. Предмет исследования — принципы обоснования выбора технологического решения на основе технико-экономического анализа. Чтобы решить поставленные задачи необходимо изучить и проанализировать данные, полученные в ходе обследования технического состояния блоков КНС на Якутской ГРЭС-2 (ЯГРЭС-2), на основе которых в дальнейшем были выполнены работы по монтажу дополнительной системы обогрева.

Для получения корректной информации применена следующая методика:

1. Сбор и обработка данных по итогам проведения пуско-наладочных работ.
2. Анализ рабочей и технической документации по примененным на объекте КНС конструктивным решениям.
3. Выяснение причин возникновения проблемы замерзания воды в резервуарах КНС.
4. Выполнение теплотехнического расчета с учетом фактического температурного режима.

5. Разработка предложений по решению проблемы, используя информацию о конструктивных и экономических ограничениях, а также данные теплотехнического расчета.

6. Сравнение представленных вариантов по экономическим и конструктивным характеристикам, а также показателям эксплуатационной надежности.

7. Окончательный выбор оптимального решения проблемы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Якутская ГРЭС-2 построена на территории г. Якутск и расположена в зоне вечной мерзлоты. Согласно СП 131.13330.2017, температура воздуха на указанной территории может опускаться до -64°C . Станция сдана в эксплуатацию в ноябре 2017 г. Она насчитывает четыре блока с газотурбинной генерацией первой очереди общей электрической мощностью 193,5 МВт и тепловой мощностью 469,6 Гкал/ч. Основные характеристики ЯГРЭС-2 приведены в табл. 1.

Пусконаладочные работы инженерных систем в части водоотведения проводились в два этапа — тестовый запуск в зимне-весенний период 2017 г. и основные работы в летний период того же года. Во время первого тестового прогона выяснилось, что стоковые воды в КНС замерзают при наружной температуре воздуха ниже -35°C . Причин оказалось несколько. Закупка блоков КНС, характеристики которых приведены в табл. 2, на ЯГРЭС осуществ-

Табл. 1. Основные параметры ЯГРЭС-2

Table. 1. Main settings Yakutsk State District Power Plant-2

Параметры / Parameters	Описание / Description
Тип станции / Station type	Газотурбинная / Gas turbine
Грунтовые условия / Ground conditions	Вечномерзлые грунты / Permafrost soils
Тип фундамента / Foundation type	Свайный / Pile
Количество турбин, шт. / Number of turbines, pcs	4
Количество пиковых водогрейных котлов (ПВК), шт. / Number of peak water boilers (PWB), pcs	3
Количество блоков КНС, шт. / The number of blocks SPS, pcs	10
Электрическая мощность станции в сумме двух очередей, МВт / Electric power station in the sum of two queues, MW	338,6

Табл. 2. Основные параметры блоков КНС

Table. 2. Key parameters of the SPS blocks

Параметры / Parameters	Описание / Description
Тип стали / Steel type	09Г2С
Диаметр, мм / Diameter, mm	1500
Высота, м / Height, m	6
Комплектация / Complete set	Теплоизоляция / Thermal insulation Электрообогрев / Electric heating

влялась конкурентным способом в конце 2014 г. По итогам конкурса были поставлены и смонтированы 10 блоков.

Согласно технической документации, комплект теплоизоляции представлял собой слой полиэтилена толщиной 100 мм. Обогрев осуществлялся с помощью греющего кабеля, расположенного в слое теплоизоляции. Греющий кабель был уложен блоками по три кольца с шагом в 1,5 м между собой. Таким образом, получилось девять колец, которые должны были осуществлять обогрев блоков КНС (рис. 1).

Однако стоки все равно замерзли. Источник проблемы обнаружили после теплотехнического расчета и последующего анализа полученных данных. Согласно расчетам по СП 50.13330.2012, для поддержания рабочей температуры в 20 °С требова-

лось применить слой полиэтиленовой теплоизоляции толщиной 200 мм против 100 мм базовой комплектации, имеющей сопротивление теплопередачи практически в половину меньше требуемого значения ($R_0^{\text{норм}} = 4,292 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт} > R_{\text{ут}}^{\text{факт}} = 2,157 \text{ м}^2 \text{ °С/Вт}$). Таким образом, при максимальных значениях отрицательных температур для этого региона теплоизоляция не справлялась со своей задачей.

Проблему поддержания стабильной температуры в блоке КНС должен был решить постоянный обогрев с помощью электрического греющего кабеля, установленного в теплоизоляции. Но поскольку кабель покрывал лишь только часть внешней оболочки блока КНС, он не способен обеспечить равномерный обогрев всего блока, так как радиус обогрева кабеля составлял 500 мм. В конечном итоге,

Рис. 1. КНС в базовой комплектации: 1 — насос подачи хозяйственно-бытовых вод; 2 — корпус КНС из стали 09Г2С; 3 — корзина из нержавеющей стали для отбросов; 4 — наземный павильон КНС

Fig. 1. SPS in the basic configuration: 1 — domestic water pump; 2 — stainless steel enclosure 09Г2С; 3 — stainless steel waste basket; 4 — SPS ground pavilion

несоответствие применяемой теплоизоляционной защиты вкупе с неверно подобранным способом обогрева блоков КНС на заданной территории привели к замерзанию сточных вод.

Когда причины выявили и проанализировали, начался поиск решения. Ситуация осложнялась тем, что проблема выяснилась только на этапе пуско-наладочных работ, т.е. уже при смонтированных блоках КНС. Вновь производить земляные работы по удалению и засыпке грунта для установки дополнительного внешнего утепления КНС представлялось экономически не выгодным. Исходя из этого ограничения, было принято решение делать дополнительный обогрев внутри блоков.

Для обогрева внутреннего ограниченного пространства требовалось найти наименее затратное, компактное и надежное решение. В этой связи рассматривались два основных варианта:

1-й вариант — обогрев с помощью греющего кабеля;

2-й вариант — обогрев с помощью теплообменника (водяного радиатора).

Каждый из вариантов имеет как свои преимущества, так и недостатки. Далее рассмотрим каждый из них более детально.

Суть технологического решения обогрева внутреннего пространства блоков КНС по первому варианту (рис. 2) заключается в том, что во внутренний объем помещается промышленный греющий кабель (1) в виде спирали по всему контуру вместе с теплоизоляцией от внешней стенки толщиной 20 мм (2). Теплоизоляция добавляется с целью предотвращения оттаивания грунта вокруг корпуса блока КНС. Чтобы защитить кабель и теплоизоляцию от воздействия воды, во внутреннее пространство монтируется металлический защитный кожух (3) толщиной 1 мм. Установленный кабель имеет собственный резервный независимый источник питания (4).

В качестве основного источника тепла был выбран саморегулирующийся нагревательный кабель серии FSLe, основные технические характеристики которого приведены в табл. 3.

К недостаткам этого технологического решения относятся дополнительные затраты на электро-

Рис. 2. Технологическое решение по обогреву КНС с помощью греющего кабеля: 1 — кабель; 2 — теплоизоляция; 3 — защитный кожух; 4 — резервный источник питания

Fig. 2. Technological solution for heating the SPS using a heating cable: 1 — cable; 2 — heat insulation; 3 — protective cover; 4 — backup power supply

Табл. 3. Характеристики решения внутреннего обогрева резервуара КНС греющим кабелем

Table. 3. Characteristics of the solution for internal heating of a SPS tank with a heating cable

Параметры / Parameters	Описание / Description
Технические / Technical	
Модель кабеля / Cable model	17FSLe2-CT
Мощность кабеля, Вт/м / Cable power, W/m	17
Предельная рабочая температура окружающей среды, °C / Maximum working ambient temperature, °C	85
Тип кабеля / Cable type	Саморегулирующийся / Self regulating
Предельная длина цепи кабеля, м / Maximum cable chain length, m	130
Длина кабеля на один резервуар, м / Cable length on 1 tank, m	115
Экономические / Economic	
Средняя стоимость за 1 п.м. кабеля, руб. / Average cost per 1 m cable rubles	660
Стоимость кабеля на один резервуар, руб. / Cable cost per tank, rubles	75 900
Стоимость монтажа 1 п.м. кабеля, руб. / Cost of installation is 1 m cable rubles	142
Стоимость монтажа на 1 КНС, руб. / Cost of installation on 1 SPS, rubles	16 330
Стоимость установки теплоизоляции и защитного кожуха, руб. / Cost of installing insulation and protective casing, rubles	37 220
Итого, затраты на установку системы обогрева на одной КНС, руб. / Total costs of installing a heating system for 1 SPS, rubles	129 450

Рис. 3. Технологическое решение по обогреву КНС с помощью жидкостного теплообменника: 1 — змеевик; 2 — вход горячей воды; 3 — выпуск остывшей воды

Fig. 3. Technological solution for heating the SPS using a liquid heat exchanger: 1 — coil; 2 — hot water inlet; 3 — release of cooled water

энергию и сложность проверки целостности кабеля под защитным кожухом.

Во втором технологическом решении для обогрева блоков КНС используется горячая вода со станции, пропускаемая через теплообменник — водяной радиатор (рис. 3). В резервуар монтируется змеевик (1) и организуются впускной (2) и выпускной каналы (3) для горячей воды. Поскольку радиатор исполнен в виде змеевика из стальных водопроводных труб диаметром 32 мм, он не требует установки дополнительных защитных металлических кожухов.

В табл. 4 приведены технико-экономические показатели данного решения. Затраты представлены без подключения отопления КНС к единой системе отопления, поскольку такой расчет не проводился.

Основное преимущество данного метода — использование внутренних ресурсов ТЭС для обогрева КНС. Горячая вода со станции будет отапливать блоки, и возвращаться обратно в водогрейные котлы, установленные на станции. Затраты с точки зрения эксплуатации минимальны, повреждение труб можно обнаружить без специального оборудования.

Также не требуется затрат на электроэнергию по обогреву КНС.

Но у данного способа есть один существенный недостаток. Данная система отопления работает лишь тогда, когда работает станция. В случае если блоки электростанции будут остановлены в зимний период, что возможно не только при аварийной ситуации, но и при регулировании выработки электроэнергии, система подачи горячей воды остановится, при этом вода в трубах замерзнет. Растопить замерзшую воду в единой системе при низкой температуре не представляется возможным в кратчайшие сроки.

Также не стоит забывать и о коррозии металла. Сварочные стыки, как и сами трубы жидкостного радиатора, будут находиться под действием агрессивной среды, следствием чего будет являться коррозия металла. Поскольку радиатор должен быть сварен непосредственно в резервуаре, есть вероятность некачественной работы сварщика. Поэтому нельзя исключать риска прорыва трубы и попадания в систему отопления сточных вод, вследствие чего система будет выведена из строя.

Табл. 4. Характеристики решения внутреннего обогрева резервуара КНС теплообменником

Table 4. Characteristics of the solution of internal heating of the SPS tank heat exchanger

Параметры / Parameters	Описание / Description
Технические / Technical	
Диаметр труб теплообменника, мм / Diameter of heat exchanger tubes, mm	32
Длина труб теплообменника, м / Length of heat exchanger tubes, m	125
Экономические / Economic	
Стоимость 1 п.м. труб теплообменника, руб. / Cost of 1 m heat exchanger pipes, rubles	230
Стоимость труб на 1 резервуар, руб. / Cost of pipes for 1 tank, rubles	28 750
Стоимость монтажа 1 п.м. труб, руб. / Cost of installation is 1 m pipes, rubles	600
Стоимость монтажа на 1 КНС, руб. / Cost of installation on 1 SPS, rubles	75 000
Итого, затраты на установку системы обогрева на 1 КНС, руб. / Total costs of installing a heating system for 1 SPS, rubles	103 750

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В задачу исследования входило сравнение технологических решений по экономическим и конструктивным характеристикам, а также по показателям эксплуатационной надежности, которое выполнено в виде табл. 5.

На примере системы водоотведения Якутской ГРЭС-2 рассмотрены два технологических решения по обеспечению эксплуатационной пригодности КНС в условиях Крайнего Севера, а именно по предотвращению замерзания воды внутри резервуаров насосной станции. Рассмотренные решения выполняются без проведения дополнительных удорожающих земляных работ. Ключевыми критериями выбора являются надежность работы системы обогрева, трудозатраты и экономичность выполнения работ

при ее устройстве, а также затраты на ее последующую эксплуатацию.

Было установлено, что предпочтение следует отдать отоплению с помощью греющего кабеля, поскольку такое решение имеет автономный источник обогрева внутри блоков КНС, что обеспечивает дополнительное резервирование и повышает надежность работы системы. Данное технологическое решение актуально не только для других промышленных объектов, эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера, но и для гражданских поселков, так как не каждое предприятие и город могут позволить себе установку новейших КНС. Подобный ремонт поможет справиться с износом теплоизоляции и обеспечить нормальное функционирование системы сточных вод до плановой замены оборудования.

Табл. 5. Результаты технико-экономического анализа характеристик технологических решений по обогреву блоков КНС

Table. 5. The results of the technical and economic analysis of the characteristics of technological solutions for the heating of SPS units

1-й вариант: / 1 option: обогрев греющим кабелем / heating with heating cable		2-й вариант: / 2 option: обогрев теплообменником / heating with heat exchanger	
Преимущества / Advantages	Недостатки / Disadvantages	Преимущества / Advantages	Недостатки / Disadvantages
Изменение объема внутреннего резервуара КНС, мм / Changes in the volume of the internal reservoir of the SPS, mm			
1440		1446 (с учетом пустот) / 1466 (taking into account the voids)	
Экономические затраты на установку обогрева в одном КНС, руб. / Economic costs for the installation of heating in 1 SPS, rubles			
129 450		103 750	
Конструктивные изменения / Design changes			
Три новых слоя внутри резервуара: теплоизоляция, греющий кабель, металлический кожух / Three new layers inside the tank: heat insulation, heating cable, metal casing	Металлический кожух сварной, места сварки подвержены коррозии / Welded metal casing, welding points corrode	Сварной греющий стальной жидкостной радиатор из водопроводных труб / Welded steel heating liquid radiator from water pipes	Отопительный контур и места сварки подвержены коррозии / Heating circuit and welding points are subject to corrosion
Равномерное распределение тепла по всей поверхности кожуха / Uniform distribution of heat over the entire surface of the casing	Поэтапный монтаж разными специалистами / Phased installation by different specialists	Тепло распределяется равномерно по всему резервуару / Heat is distributed evenly throughout the tank	Для монтажа требуется сварщик / Welder required for installation
Ремонтопригодность / Maintainability			
Металлический кожух можно заменить / Metal cover can be replaced	Обнаружить разрыв цепи кабеля за защитным кожухом можно с помощью тепловизора / It is possible to detect the break of the cable chain behind the protective casing using a thermal imager	Трубы можно сварить заново и ликвидировать прорыв / Pipes can be welded over and eliminated breakthrough	Сложная работа сварщика в стесненных условиях работы / Difficult job of the welder in cramped working conditions
Повреждение кабеля можно ликвидировать заменой участка цепи / Damage to the cable can be eliminated by replacing a part of the circuit		Не требует специального оборудования для обнаружения повреждений / Does not require special equipment to detect damage	
Эксплуатационные особенности / Exploitation features			
Автономность системы от внешних воздействий и работы станции / System autonomy from external effects and station operation	Повышенное потребление электроэнергии / Increased electricity consumption	Отсутствие дополнительных затрат на электроэнергию при функционировании системы / Lack of additional energy costs in the operation of the system	Зависимость от работы станции: остановка работы станции в осенне-зимний период приведет к замерзанию воды в системе отопления / Dependence on the station operation: stopping the station in the autumn-winter period will lead to the freezing of water in the heating system
Автоматизированный контроль температуры и времени обогрева / Automated temperature and heating time control			
Данные могут выводиться на единый диспетчерский пульт / Data can be output to a single dispatch console			

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сергеев С.И.* Мониторинг объектов жизнеобеспечения — путь к предотвращению ЧС // Технологии гражданской безопасности. 2006. Т. 3. № 3 (11). С. 118–121. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-obektov-zhizneobespecheniya-putk-predotvrascheniyu-chs>
2. *Галеженко О.Н.* Проблемы функционирования ЖКХ в условиях реформирования отрасли // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 3: Экономика. Экология. 2012. № 2 (21). С. 121–127. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/problemy-funktsionirovaniya-zhkh-v-usloviyah-reformirovaniya-otrasli>
3. *Великанов Н.Л., Наумов В.А., Корягин С.И., Мойса А.В.* Совершенствование системы ливневой канализации города // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2017. № 2 (40). С. 14–20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29771145>
4. *Иванова А.С., Павлов С.Я.* Канализационная насосная станция: предложения по модернизации. // Неделя науки 2017 : мат. науч. форума с междунар. участием. Санкт-Петербург, 13–19 ноября 2017 г. СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. С. 169–171. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30613364>
5. *Ветлицын Ю.А., Ветлицын А.М.* Технологическая и энергетическая эффективность модернизации насосных станций системы водоотведения // Вестник Псковского государственного педагогического университета. Сер. : Естественные и физико-математические науки. 2010. № 10. С. 150–156. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskaya-i-energeticheskaya-effektivnost-modernizatsii-nasosnyh-stantsiy-sistemy-vodootvedeniya>
6. *Бохан А.Н., Колесник Ю.Н.* Оптимизация режимов электропотребления насосных агрегатов водопроводно-канализационного хозяйства // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2002. № 2. С. 41–48. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-rezhimov-elektropotrebleniya-nasosnyh-agregatov-vodoprovodno-kanalizatsionnogo-hozyaystva>
7. *Яхина Ю.З.* Основные принципы моделирования и оптимизации систем водоотведения // Журнал университета водных коммуникаций. 2010. № 1. С. 168–170. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14571099>
8. *Крюков О.В.* Задачи и новые технические средства автоматизации системы канализационных насосных станций // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2018. № 5 (106). С. 36–39.
9. *Саломеев В.П., Рыжков А.Д.* Восстановление и реконструкция насосных станций в критических ситуациях // Вода Magazine. 2017. № 3 (115). С. 30–33.
10. *Макотрина Л.В.* Состояние систем водоотведения в Иркутской области и перспективы их развития в соответствии с государственными программами // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2017. Т. 7. № 1. С. 69–76. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-sistem-vodootvedeniya-v-irkutskoy-oblasti-i-perspektivy-ih-razvitiya-v-sootvetstviy-s-gosudarstvennymi-programmami>
11. *Дементьева М.Е., Шайтанов А.М.* Повышение эксплуатационной пригодности гидротехнических сооружений на примере Кайраккумской ГЭС (Таджикистан) // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. № 10 (109). С. 1098–1106. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.10.1098-1106
12. *Lovering J.R., Yip A., Nordhaus T.* Historical construction costs of global nuclear power reactors // Energy Policy. 2016. Vol. 91. Pp. 371–382. URL: <https://thebreakthrough.org/index.php/programs/energy-and-climate/historical-construction-costs-of-global-nuclear-power-reactors>. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.01.011
13. *Lazzaretto A., Toffolo A.* Energy, economy and environment as objectives in multi-criterion optimization of thermal systems design // Energy. 2004. Vol. 29. Issue 8. Pp. 1139–1157. DOI: 10.1016/j.energy.2004.02.022
14. *Wang X., Shi H., Wang K.* Sewage pumping stations control system based on fuzzy self-learning // Journal of Electronic Measurement and Instrument. 2004. Vol. 1. Pp. 54–59.
15. *Hall C.A.* Introduction to special issue on new studies in EROI (Energy return on investment) // Sustainability. 2011. Vol. 3. Issue 10. Pp. 1773–1777. DOI: 10.3390/su3101773
16. *Константиновская Л.В., Косухин М.М.* К вопросу о гидравлической совместимости ремонтных материалов в безнапорных трубопроводах при бестраншейной реновации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. Т. 2. № 1. С. 37–40. DOI: 10.12737/23291
17. *Zhukov A.D., Smirnova T.V., Zelenshchikov D.B., Khimich A.O.* Thermal treatment of the mineral wool mat // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 838–841. Pp. 196–200. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.838-841.196
18. *Yuanyuan Li, Luyao Zhou, Gang Xu, Yaxiong Fang, Shifei Zhao, Yongping Yang.* Thermodynamic analysis and optimization of a double reheat system in an ultra-supercritical power plant // Energy. 2014. Vol. 74. Pp. 202–214. DOI: 10.1016/j.energy.2014.05.057
19. *Ermolin Y.A., Zats L.I., Kajisa T.* Hydraulic reliability index for sewage pumping stations // Urban Water. 2002. Vol. 4. Issue. 3. Pp. 301–306. DOI: 10.1016/s1462-0758(01)00069-3
20. *Суэтина Т.А., Павлинова И.И., Бурдачева Н.А.* Организация строительства и реконструк-

ции КНС в условиях Крайнего Севера // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 1. С. 74–75.

21. Алексеева Г.Н., Малиновская А.А., Мироненко Д.П. Канализационная насосная станция // Вологодские чтения. 2009. № 76. С. 141–143. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15114175>

22. Чупин Р.В., Нгуен Т.А., Беликова Н.Б. Оптимальное управление потоками сточной жидкости // Вестник Иркутского государственного техническо-

го университета. 2015. № 9 (104). С. 99–108. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24213060>

23. Борисов В.Н., Павлов О.Н., Толмачев М.В. Методика прогнозирования надежности обделок камер подземных канализационных насосных станций // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 1. С. 20–28. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-prognozirovaniya-nadezhnosti-obdelok-kamer-podzemnyh-kanalizatsionnyh-nasosnyh-stantsiy>

Поступила в редакцию 30 декабря 2018 г.

Принята в доработанном виде 10 января 2019 г.

Одобрена для публикации 28 февраля 2019 г.

О Б АВТОРАХ: Дементьева Марина Евгеньевна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры жилищно-коммунального комплекса, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 7dem@mail.ru;

Курохтин Артем Андреевич — студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, kurartt@yandex.ru.

REFERENCES

1. Sergeev S.I. Monitoring of life support facilities is a — way to prevent emergencies. *Civil Security Technologies*. 2006; 3(11):118–121. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-obektov-zhizneobespecheniya-put-k-predotvrascheniyu-chs> (rus.).

2. Galezhenko O.N. Problems of functioning of housing and public utilities in the context of industry reform. *Bulletin of Volgograd State University. Series 3: Economy. Ecology*. 2012; 2(21):121–127. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/problemy-funktsionirovaniya-zhkh-v-usloviyah-reformirovaniya-otrasli> (rus.).

3. Velikanov N.L., Naumov V.A., Koryagin S.I., Mojsa A.V. Improving the storm sewer system of the city. *Technical and Technological Problems of Service*. 2017; 2(40):14–20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29771145> (rus.).

4. Ivanova A.S., Pavlov S.Ya. Sewage pumping station: proposals for upgrading. *Science Week 2017 : materials of a scientific forum with international participation. St. Petersburg, November 13–19, 2017*. St. Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2017; 169–171. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30613364> (rus.).

5. Vetlicyn Yu.A., Vetlicyn A.M. Technological and energy efficiency of modernization of pumping stations of the sewage system. *Bulletin of the Pskov State Pedagogical University. Ser. : Natural, physical and mathematical sciences*. 2010; 10:150–156. URL: [\[energeticheskaya-effektivnost-modernizatsii-nasosnyh-stantsiy-sistemy-vodootvedeniya\]\(https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskaya-effektivnost-modernizatsii-nasosnyh-stantsiy-sistemy-vodootvedeniya\) \(rus.\).](https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskaya-i-</p></div><div data-bbox=)

6. Bohan A.N., Kolesnik Yu.N. Optimization of power consumption of pumping units of plumbing facilities. *Bulletin of the Gomel State Technical University P.O. Sukhoi*. 2002; 2:41–48. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-rezhimov-elektropotrebleniya-nasosnyh-agregatov-vodoprovodno-kanalizatsionnogo-hozyaystva> (rus.).

7. Yahina Yu.Z. Basic principles of modeling and optimization of wastewater systems. *Journal of the University of Water Communications*. 2010; 1:168–170. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14571099> (rus.).

8. Kryukov O.V. Tasks and new technical means of automation of sewage pumping stations. *Automation and IT in power engineering*. 2018; 5(106):36–39. (rus.).

9. Salomeev V.P., Ryzhkov A.D. Restoration and reconstruction of pumping stations in critical situations. *Water Magazine*. 2017; 3(115):30–33. (rus.).

10. Makotrina L.V. Condition of water disposal systems in Irkutsk region and perspectives of their development in accordance with state programs. *News Proceedings of Universities. Investments. Constructions. Real estate*. 2017; 7(1):69–76. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-sistem-vodootvedeniya-v-irkutskoy-oblasti-i-perspektivy-ih-razvitiya-v-sootvetstvi-s-gosudarstvennymi-programmami> (rus.).

11. Dement'eva M.E., Shaitanov A.M. Increase of operational suitability of hydrotechnical structures on

the example of Kayrakkum HPP (Tajikistan). *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2017; 12(10):1098-1106. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.10.1098-1106 (rus.).

12. Lovering J.R., Yip A., Nordhaus T. Historical construction costs of global nuclear power reactors. *Energy Policy*. 2016; 91:371-382. URL: <https://thebreakthrough.org/index.php/programs/energy-and-climate/historical-construction-costs-of-global-nuclear-power-reactors> DOI: 10.1016/j.enpol.2016.01.011

13. Lazzaretto A., Toffolo A. Energy, economy and environment as objectives in multi-criterion optimization of thermal systems design. *Energy*. 2004; 29(8):1139-1157. DOI: 10.1016/j.energy.2004.02.022

14. Wang X., Shi H., Wang K. Sewage pumping stations control system based on fuzzy self-learning. *Journal of Electronic Measurement and Instrument*. 2004; 1:54-59.

15. Hall C.A. Introduction to special issue on new studies in EROI (Energy Return on Investment). *Sustainability*. 2011; 3(10):1773-1777. DOI: 10.3390/su3101773

16. Konstantinevskaya L.V., Kosuhin M.M. To the question of hydraulic compatibility of repair materials in free-flow pipes in trenchless renovation. *Bulletin of BSTU V.G. Shukhov*. 2016; 2(1):37-40. DOI: 10.12737/23291 (rus.).

17. Zhukov A.D., Smirnova T.V., Zelenshchikov D.B., Khimich A.O. Thermal treatment of the mineral wool mat. *Advanced Materials Research*. 2013;

838-841:196-200. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.838-841.196

18. Yuanyuan Li, Luyao Zhou, Gang Xu, Yaxiong Fang, Shifei Zhao, Yongping Yang. Thermodynamic analysis and optimization of a double reheat system in an ultra-supercritical power plant. *Energy*. 2014; 74:202-214. DOI: 10.1016/j.energy.2014.05.057

19. Ermolin Y.A., Zats L.I., Kajisa T. Hydraulic reliability index for sewage pumping stations. *Urban Water*. 2002; 4(3):301-306. DOI: 10.1016/s1462-0758(01)00069-3

20. Suetina T.A., Pavlinova I.I., Burdacheva.N.A. Organization of construction and reconstruction of SPS in the Far North. *Academia. Architecture and construction*. 2010; 1:74-75. (rus.).

21. Alekseeva G.N., Malinovskaya A.A., Mironenko D.P. Sewage pumping station. *Vologda's reading*. 2009; 76:141-143. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15114175> (rus.).

22. Chupin R.V., Nguen T.A., Belikova N.B. Optimal control of wastewater flows. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2015; 9(104):99-108. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24213060> (rus.).

23. Borisov V.N., Pavlov O.N., Tolmachev M.V. Technique for predicting the reliability of lining of chambers of underground sewage pumping stations. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2007; 1:20-28. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-prognozirovaniya-nadezhnosti-obdelok-kamer-podzemnyh-kanalizatsionnyh-nasosnyh-stantsiy> (rus.).

Received December 30, 2018.

Adopted in a modified form January 10, 2019.

Approved for publication February 28, 2019.

ABOUT THE AUTHORS: **Marina E. Dement'eva** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Housing and Communal Services, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, 7dem@mail.ru;

Artem A. Kurokhtin — student, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, kurartt@yandex.ru.